

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01B 17/06 (2006.01)
G01S 15/02 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810244510.8

[43] 公开日 2009年5月13日

[11] 公开号 CN 101430197A

[22] 申请日 2008.11.19

[21] 申请号 200810244510.8

[71] 申请人 郑钢丰

地址 232001 安徽省淮南市舜耕中路 168 号
安徽理工大学材料科学与工程学院

[72] 发明人 郑钢丰 郑礼全 李玲

[74] 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有限
责任公司
代理人 何梅生

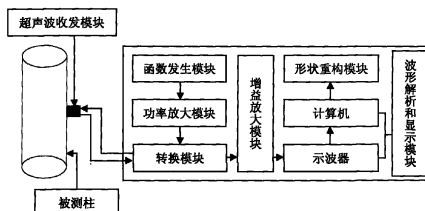
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 4 页

[54] 发明名称

利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统

[57] 摘要

利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统，其系统构成的特点是包括有函数发生模块，输入介质参数生成适用于检测的具备设定中心频率及周期的单音频信号的模块；超声波收发模块，以其作为超声波发送单元向被测柱中发送超声波信号；或以其作为超声波接收单元，接收被测柱中缺陷的反射回波信号；三维缺陷形状重构模块，根据被测柱中缺陷的反射回波信号，重构柱结构中三维缺陷形状。本发明系统具有重构准确度高、操作简单、重构成本低等优点。



1、利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统，其特征在其系统构成中包括：

函数发生模块，根据输入的介质参数生成适用于检测的具备设定中心频率及周期的单音频信号的模块；

超声波收发模块，以其作为超声波发送单元向被测柱中发送超声波信号；或以其作为超声波接收单元，接收被测柱中缺陷的反射回波信号；

三维缺陷形状重构模块，根据被测柱中缺陷的反射回波信号，重构柱结构中三维缺陷形状。

转换开关模块，在工作模式 1 与工作模式 2 之间转换，其中：

工作模式 1：函数发生模块发送的超声波信号传递至超声波收发模块；

工作模式 2：超声波收发模块接收到的柱结构中缺陷反射回波信号导入三维缺陷形状重构模块。

2、根据权利要求 1 所述的利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统，其特征是设置超声波收发模块于被测柱结构侧面，在所述被测柱结构中产生沿柱横截面传播的纵波，以所述纵波在柱结构中遇到缺陷产生的回波信号作为超声波收发模块的接收信号。

3、根据权利要求 2 所述的利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统，其特征是所述超声波收发模块针对被测柱结构表面的信号发射与接收的密度为沿同一截面上间隔 10° ，纵向间隔 3mm。

4、根据权利要求 2 所述的利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统，其特征是所述超声波收发模块为压电换能器或单晶探头。

5、根据权利要求 1 所述的利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统，其特征是所述转换开关模块的电路结构设置为功率放大器通过一对背靠背二极管 D1、D2 一路与电桥 B1 相连，另一路先通过一对背靠背二极管 D3、D4 一路接至传感器 P2，另一路与电桥 B2 相连；在所述电桥 B2 的输出回路中并联连接另一对背靠背二极管 D5、D6。

利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统

技术领域

本发明涉及利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的方法，属于无损检测领域。

背景技术

随着我国现代化建设的发展，无论在高科技建设方面还是在基础设施建设方面，设施结构安全检测都是一个不容忽视的环节。由于柱结构在复杂的服役环境中受到设计载荷的作用，以及各种突发性外在因素的影响而面临结构中缺陷损伤程度的积累。随着时间的推移，有的会发生严重的损伤，甚至导致断裂，由此会产生灾难性的后果。目前对结构中缺陷定性研究的较多，而对其所含缺陷进行定量检测存在较大困难。

超声波检测技术是一种在不损坏被检物的结构和使用性能的情况下，利用超声波的方法来揭示其内部或表面存在的缺陷，以期提高被检物的内在质量和使用时的可靠性的一种技术，近年来引起人们广泛关注。超声波检测作为一种既安全又经济的手段，受到工程技术人员的青睐。现在，突飞猛进的高尖端技术在对材料的性能提出了更高要求的同时，要求材料的检测手段有进一步的改进，提出了定量无损检测(Quantitative Non-destructive Test)的需要，也就是不仅需要探测材料内部是否存在缺陷，而且需要定量地确定缺陷的几何特征(形状、尺寸和取向)和材料性能，甚至缺陷的动态发展规律。但是，目前还没有相关的手段能达到这一技术效果。

发明内容

本发明是为避免上述现有技术所存在的不足，提供一种利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统，以便能够快速、准确、低成本地重构出柱结构中三维缺陷的形状。

本发明利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状的系统构成包括：

函数发生模块，根据输入的介质参数生成适用于检测的具备设定中心频率及周期的单音频信号的模块；

超声波收发模块，以其作为超声波发送单元向被测柱中发送超声波信号；或以其作为超声波接收单元，接收被测柱中缺陷的反射回波信号；

三维缺陷形状重构模块，根据被测柱中缺陷的反射回波信号，重构柱结构中三维缺陷形状。

转换开关模块，在工作模式1与工作模式2之间转换，其中：

工作模式1：函数发生器模块发送的超声波信号传递至超声波收发模块；

工作模式2：超声波收发模块接收到的柱结构中缺陷反射回波信号导入三维缺陷形状重

构模块。

本发明系统的结构特点也在于：

设置超声波收发模块于被测柱结构侧面，在所述被测柱结构中产生沿柱横截面传播的纵波，以所述纵波在柱结构中遇到缺陷产生的回波信号作为超声波收发模块的接收信号。

所述超声波收发模块针对被测柱结构表面的信号发射与接收的密度为沿同一截面上间隔 10° ，纵向间隔 3mm。

所述超声波收发模块为压电换能器或单晶探头。

所述转换开关模块的电路结构设置为功率放大器通过一对背靠背二极管 D1、D2 一路与电桥 B1 相连，另一路先通过一对背靠背二极管 D3、D4 一路接至传感器 P2，另一路与电桥 B2 相连；在所述电桥 B2 的输出回路中并联连接另一对背靠背二极管 D5、D6。

与已有技术相比，本发明有益效果体现在：

1、本发明利用超声波重构柱结构中三维缺陷形状，为无损检测，不需破坏结构；对于含三维缺陷的柱状结构，利用超声探头提取缺陷处反射回波信号，经信号处理后重构缺陷形状；检测准确度高，误差能够满足工程要求，检测成本低。

2、本发明系统操作简单，工人劳动强度小，对操作工人的技术水平要求低。

3、本发明对于在实际工程中有广泛应用的柱状的杆等典型结构的检测具有很重要的工程意义，在在飞机、航天器、海洋平台、新型桥梁、网架结构、高层建筑等中都能体现出其广泛的应用前景。

附图说明

图 1 为本方法的便携式终端装置模块示意图。

图 2a、图 2b 分别为利用本发明系统，激发频率为 1.31MHz 柱结构中圆柱形空穴反射回波的时域波形图和频谱图。

图 3a、图 3b 分别为本发明方法的函数发生器模块中的检测条件设定窗口和发送波形选择/显示窗口。

图 4 为本方法的三维缺陷形状检测结果显示窗口。

图 5 为控制方法流程图。

图 6 为本发明转换开关模块电路原理图。

以下通过具体实施方式，结合附图对本发明作进一步说明

具体实施方式

参见图 1，本实施例中的系统构成主要包括：

函数发生模块,根据输入的介质参数生成适用于检测的具备设定中心频率及周期的单音频信号的模块,可以采用高性能单片机和高速数/模转换芯片构成,也可由 DSP 芯片实现。

超声波收发模块,以其作为超声波发送单元向被测柱中发送超声波信号;或以其作为超声波接收单元,接收被测柱中缺陷的反射回波信号;可以采用压电换能器或单晶探头,比如采用压电换能器,将压电换能器放置于柱结构的侧面,通过耦合剂如凡士林等与柱结构侧面接触,在被测柱结构中产生沿柱横截面传播的纵波,以纵波在柱结构中遇到缺陷产生的回波信号作为超声波收发模块的接收信号。

三维缺陷形状重构模块,根据被测柱中缺陷的反射回波信号,重构柱结构中三维缺陷形状。

转换开关模块,在工作模式 1 与工作模式 2 之间转换,其中:

工作模式 1: 函数发生器模块发送的超声波信号传递至超声波收发模块;

工作模式 2: 超声波收发模块接收到的柱结构中缺陷反射回波信号导入三维缺陷形状重构模块。

具体实施中,系统设置还包括有:

功率放大模块,由前置放大器和集成功率放大器构成,用于放大由函数发生模块所产生的波形信号,并通过转换开关传输给超声波收发模块;

增益放大模块,用于将所接收到的柱结构中缺陷反射回波信号进行放大,最大放大率可达 60dB。

波形解析及显示模块,通过对反射回波信号的分析,提取缺陷反射回波信号,并将该信号波形进行显示,三维缺陷形状重构模块通过将波形解析及显示模块的回波信号导入相应的计算软件计算并显示三维缺陷形状。

具体工作过程是:将超声波收发模块安置于被测柱结构侧面,将柱结构介质相关参数输入函数发生器模块,函数发生器模块从自身储备数据库中选取适合该参数的信号,并产生脉冲信号,经功率放大模块进行放大后,再经由转换开关模块施加于超声波收发模块,超声波收发模块在柱结构中产生一个沿柱横截面传播的纵波,该纵波在柱结构中遇到缺陷产生的回波信号又传输到超声波收发模块,超声波收发模块通过转换开关模块将该信号传输给增益放大模块,增益放大模块放大信号后送入波形解析及显示模块,波形解析及显示模块通过分析反射回波信号,以数据的形式存储在存储器中,以备分析处理,提取缺陷反射回波处的信号,将回波信号导入三维缺陷形状重构模块,计算并显示三维缺陷的形状。

参见图6,转换开关模块由稳压电源和转换电路组成。

稳压电源为转换电路提供正负 15 伏的直流稳压电，转换开关模块的电路结构设置为功率放大器通过一对背靠背二极管 D1、D2 一路与电桥 B1 相连，另一路先通过一对背靠背二极管 D3、D4 一路接至传感器 P2，另一路与电桥 B2 相连；在所述电桥 B2 的输出回路中并联连接另一对背靠背二极管 D5、D6。

这个电路的功能是在不使用继电器的情况下，自动完成激励接收模式的转换。继电器本身具有固有的噪声，当继电器断开和闭合时会产生较大幅度的脉冲噪声，形成虚假信号，同时它会损坏后续精密的接收设备。该电路利用电桥及二极管的组合实现类似继电器的闭合、断开之间的自动转换。

转换开关模块如图 6 所示，一个功率放大器通过一对背靠背的 1N4004 二极管 D1、D2，与电桥 B1 相连，这一回路在接收信号时起到隔离功率放大器的作用。1N4004 二极管对功率放大器产生的噪声是一种高阻抗，可减少大功率输入信号噪声对接收信号的干扰。当来自于功率放大器的输入脉冲信号大于 1.2V_{p-p} 时，电桥 B1 反向偏置，信号通过两组二极管 D3、D4 到达超声波收发模块即传感器 P2，产生超声波信号，电桥 B2 反向偏置，只有极少的激励信号通过电桥 B2 到达下一级，紧接着的一组二极管 D5、D6 对漏过的激励信号具有限流作用，将到达后端的信号限制在一个可容忍的范围内。当传感器 P2 接收信号时，接收信号比较微弱，二极管 D3、D4 成为高阻抗，电桥 B2 的偏置电阻选择为 2k，使电桥的阻抗很小，从而使绝大多数的接收信号都能通过达到下一级。这样超声波激励和接收的信号就被分隔开来，实现激励接收模式的自动转换。

转换开关的作用是在检测过程中，同一组传感器要完成信号激励和接收的双重任务，需要转换开关模块将激励出的 70V 以上的高电压信号和所接收到的 500mV 以下弱电压信号区分开，将高电压信号送给超声波收发模块，并将弱电压信号传送给增益放大模块。

图 1 所示的柱结构长度为 33cm、直径为 15cm，铝质圆柱体，密度为 2700kg/m³，纵波波速为 6320m/s。其内含直径是 10mm，长为 10cm 的孔。

1、如图 3 (a)、图 3 (b) 所示，将铝质柱结构的相关参数输入函数发生器模块输入界面中，函数发生模块根据输入参数从自身储备数据库中选择适合脉冲超声波信号。在本实施中，函数发生器模块产生一个频率为 1.31MHz 的单音频正弦信号。经功率放大模块进行电流放大后其电压峰值为 200V，经转换开关模块施加于超声波收发模块上，在被测铝质柱结构中产生纵波；

2、上述纵波在铝质柱结构中遇到缺陷产生反射，超声波收发模块接收到纵波的回波信号，经转换开关模块，并由增益放大模块放大电流信号后，送入波形解析及显示模块；

3、波形解析及显示模块通过分析反射回波信号，提取缺陷反射回波处的信号，并将此回波波形显示出来。三维缺陷形状重构模块将波形解析及显示模块的回波信号导入相应的计算软件，计算后显示三维缺陷形状，过程如图 5 所示。

图 4 为 1.31MHz 频率下所接收的反射波形。第一次反射回波时间为 0.00427ms，依此类推每隔 10° 沿同一截面激励并接收一次，在纵向每隔 3mm 进行上述操作，依次将相应的反射回波数据导入计算软件进行计算，最终重构出缺陷的三维形状，如图 2 所示。

三维缺陷形状重构模块的控制过程为：

导入缺陷回波数据进行快速傅立叶变换；

逐一进行数组的循环赋值，即二维数组的循环赋值过程；

对频谱的幅值进行处理；

其中对频谱的幅值进行处理的相应公式如下

$$E^{SC}(f) = E^{ref} \frac{O^{SC}(f)}{O^{ref}(f)}$$

式中， E^{ref} 表示自由平面的反射系数； $O^{ref}(f)$ 和 $O^{SC}(f)$ 分别表示参考信号与测得的信号 Fourier 变换后的对应值。

积分函数进行离散化求解；

其中积分函数的表达式如下

$$\Gamma(x) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{4}{u^0} \hat{y}_m A_m^L(k_L, \pi/2, \phi) e^{2ik_L(x_1 \cos\phi + x_2 \sin\phi)} dk_L d\phi$$

式中， ϕ 表示散射角的度数； k_L 表示纵波波数； $\hat{y}_m A_m(k_L, \pi/2, \phi)$ 表示散射幅值； u^0 表示振幅。

在指定区域内重构缺陷形状。

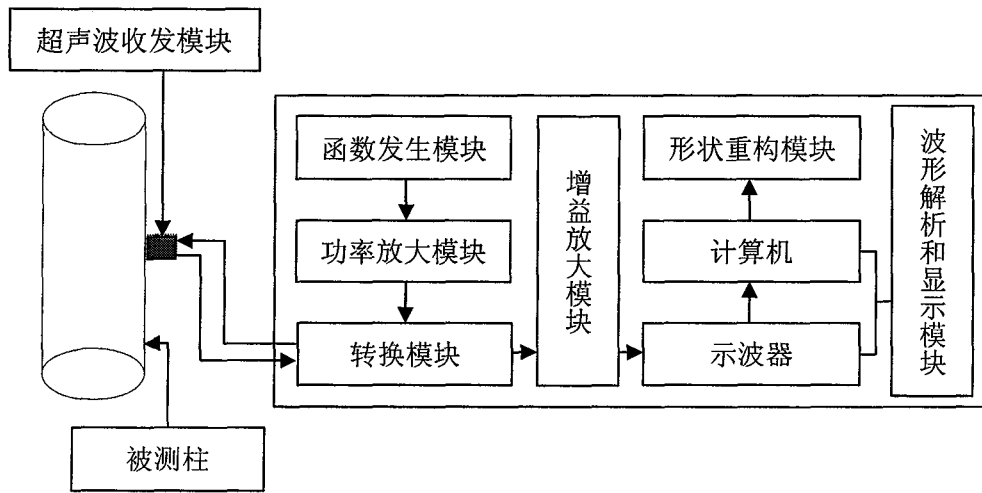


图 1

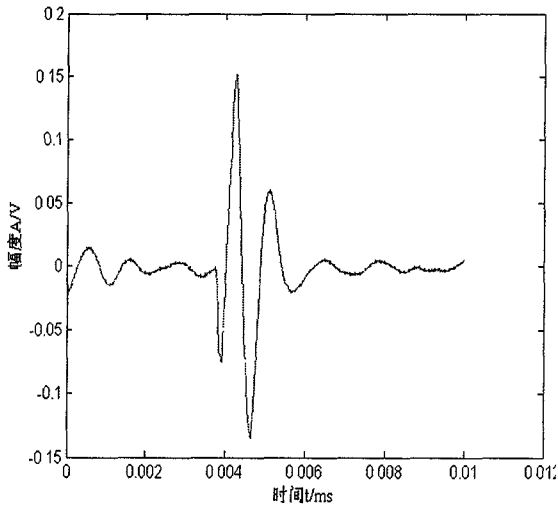


图 2a

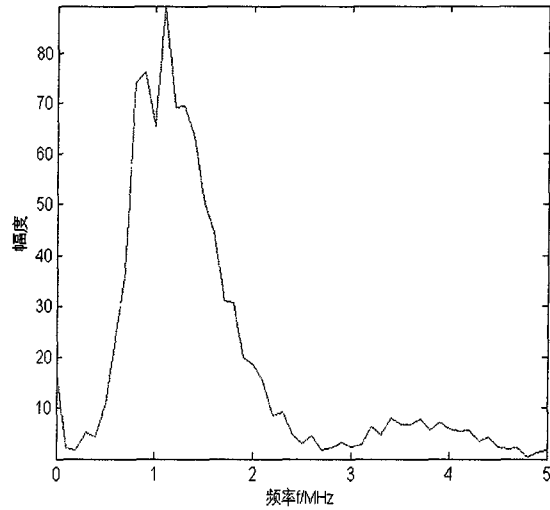


图 2b

检查条件设定窗口	
介质	
密度	2700kg/m ³
纵波波速	6320m/s
横波波速	3040m/s
确定	

图 3a

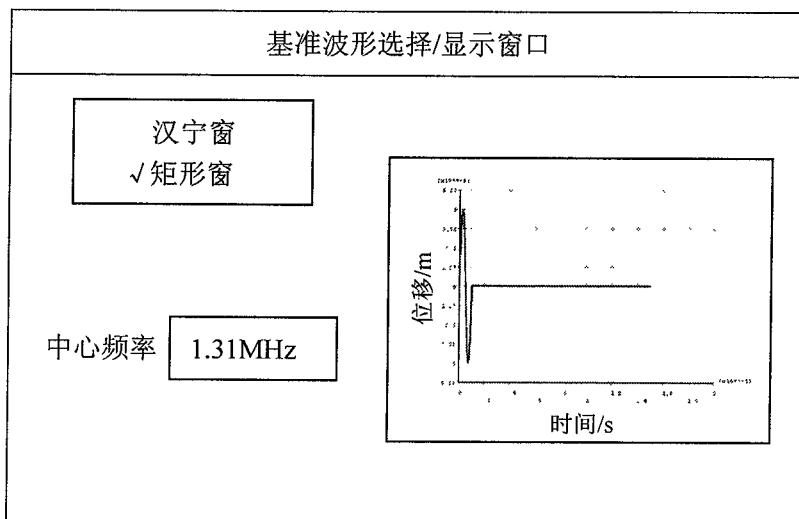


图 3b

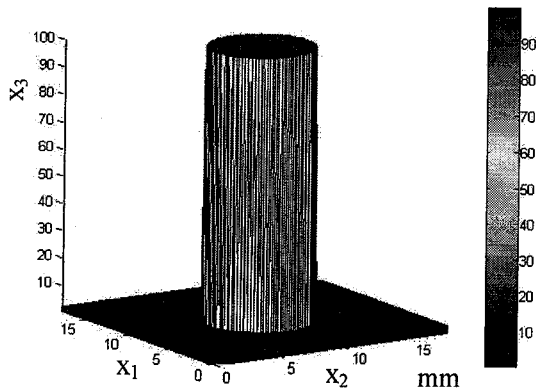


图 4

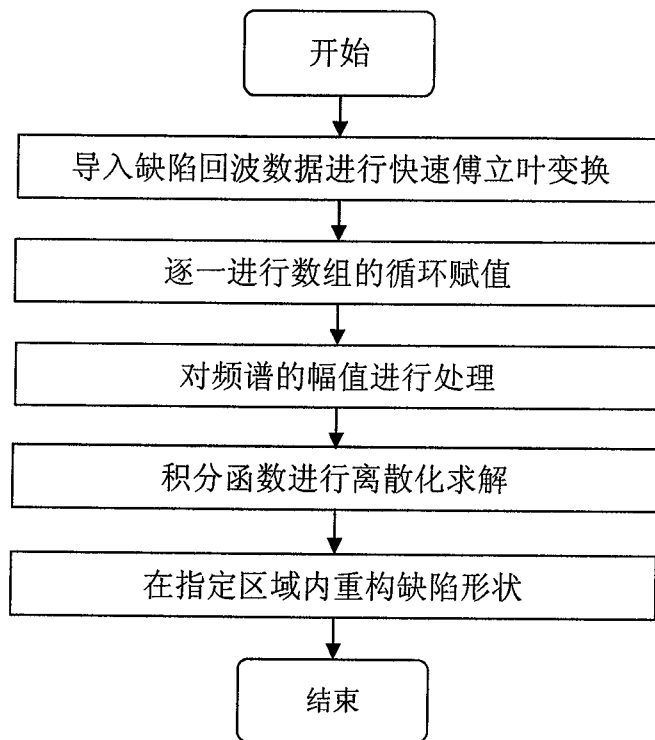


图 5

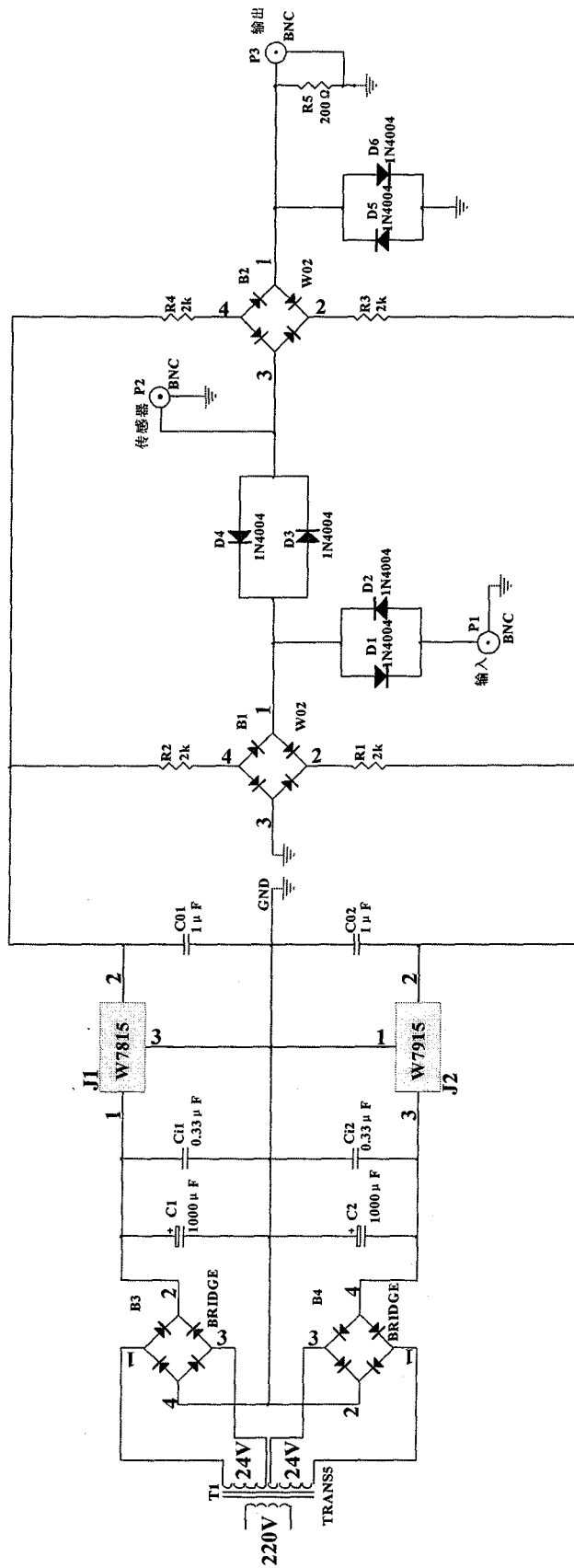


图 6